

УДК 625.85

Т. В. Семенова, Н. П. Александрова

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)

ТРЕБОВАНИЯ К ПАРАМЕТРАМ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В статье рассмотрены вопросы обеспечения безопасного движения автомобильного транспорта по мокрому шероховатому асфальтобетонному покрытию. Приведена математическая модель, связывающая коэффициент сцепления шины с параметрами шероховатости покрытия, глубиной, стекающей с поверхности дождевой воды, скоростью движения автомобиля. Из этой модели выводятся формулы для расчета предельных параметров шероховатости покрытия, обеспечивающих требуемый коэффициент сцепления при различных скоростях движения и глубине стока дождевой воды.

Ключевые слова: коэффициент сцепления, параметры шероховатости, дорожное покрытие.

Введение

Безопасное движение автомобильного транспорта по дорожному покрытию возможно только при обеспечении требуемого сопротивления скольжению. На практике характеристикой сопротивления скольжению является коэффициент сцепления шины с покрытием. Коэффициент сцепления определяют отношением горизонтальной силы, которую необходимо приложить к движущемуся колесу для его остановки, к вертикальной нагрузке от веса автомобиля, приходящегося на это колесо. Таким образом, формула для вычисления продольного коэффициента сцепления шины транспортного средства с покрытием подобна фундаментальной физической зависимости коэффициента трения. Тем не менее специалисты дорожной отрасли используют термин «коэффициент сцепления», поясняя это тем, что данная характеристика сопротивления движению включает в себя две составляющие: адгезионную, образующуюся за счет молекулярного сцепления резины с каменным материалом, и механическую, являющуюся следствием вдавливания каменного материала шероховатости в шину. В этом случае сопротивление движению зависит от параметров шероховатости покрытия и влияющего состояния покрытия (наличие на покрытии определенных видов скользкости, например дождевой воды). В настоящее время текстуру покрытия подразделяют на три типа: мега, макро и микро. Все три типа оказывают сопротивление движению и характеризуются длиной волны и амплитудой, но влияние на сцепление шины с покрытием оказывают параметры микротекстуры и макротекстуры [1]. В РФ под этой терминологией понимают микрошероховатость и макрошероховатость покрытия, а их роль в обеспечении сцепных качеств шины с покрытием рассмотрена в фундаментальных трудах А. П. Васильева, Ю. В. Кузнецова, М. В. Немчинова (МАДИ), А. А. Малышева, И. Н. Христолюбова (СибАДИ) и их учеников.

Исследования, выполненные в России и за рубежом, наглядно демонстрируют прямую зависимость количества дорожно-транспортных происшествий

(ДТП) от величины коэффициента сцепления. Авторы работ [2—7] указывают, что на мокрых покрытиях количество ДТП возрастает.

Исследования, выполненные в работах [8, 9], показывают, что коэффициент сцепления шины с покрытием зависит как от скорости движения, так и от состояния микро- и макрошероховатости. Результаты этих экспериментов приведены на рис. 1.

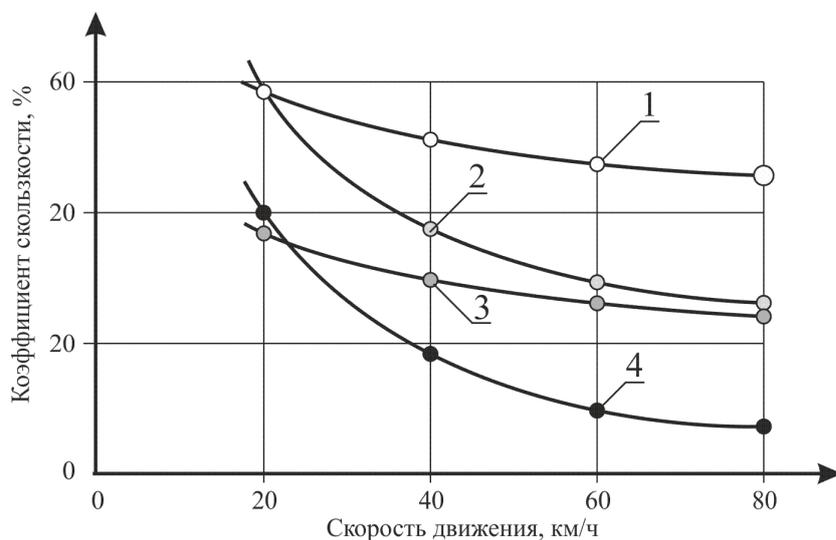


Рис. 1. Зависимость коэффициента скользкости от скорости движения [8, 9]: 1 — хорошая микро- и макрошероховатость; 2 — хорошая микро-, но плохая макрошероховатость; 3 — хорошая макро-, но плохая микрошероховатость; 4 — плохая микро- и макрошероховатость

Результаты, представленные на рис. 1, хорошо отражают сложившуюся в настоящее время точку зрения о влиянии макро- и микрошероховатости на обеспечение коэффициента сцепления при различных скоростях движения. Специалисты подчеркивают, что микрошероховатости обеспечивает коэффициент сцепления при малых скоростях движения. Для обеспечения коэффициента сцепления шины с мокрым покрытием при высоких скоростях движения необходима хорошая макрошероховатость покрытия. В РФ и за рубежом под макротекстурой и макрошероховатостью понимают особенности текстуры поверхности, высота которых превышает 0,5 мм. Такая текстура обеспечивает [10]:

- отвод воды с покрытия, не допуская ее скопления между шиной и дорожным покрытием, и тем самым предотвращает гидропланирование;
- гистерезисную составляющую трения шины о дорожное покрытие, т. е. потерю энергии при деформации шины вокруг неровностей макротекстуры.

Под микрошероховатостью покрытия понимаются особенности текстуры поверхности, высота которых меньше 0,5 мм [10]. К таким особенностям микротекстуры относят шероховатость самих зерен каменного материала на поверхности покрытия, создающего его шероховатость. Роль микрошероховатости в обеспечении сцепления шины с покрытием состоит в проникновении

выступов микрошероховатости сквозь пленку воды и поддержании плотного контакта шины и покрытия.

В настоящее время исследования по изучению влияния на коэффициент сцепления скорости движения автомобиля, параметров шероховатости покрытия, толщины слоя, стекающей с покрытия воды, температуры и других факторов проводят комплексно. Эксперименты выполняют при помощи специального оборудования, а результаты эксперимента описывают математическими моделями, связывающими коэффициент сцепления с принятыми во внимание факторами.

На рис. 2 приведены мобильные установки для измерения коэффициента сцепления шины с увлажненным покрытием.

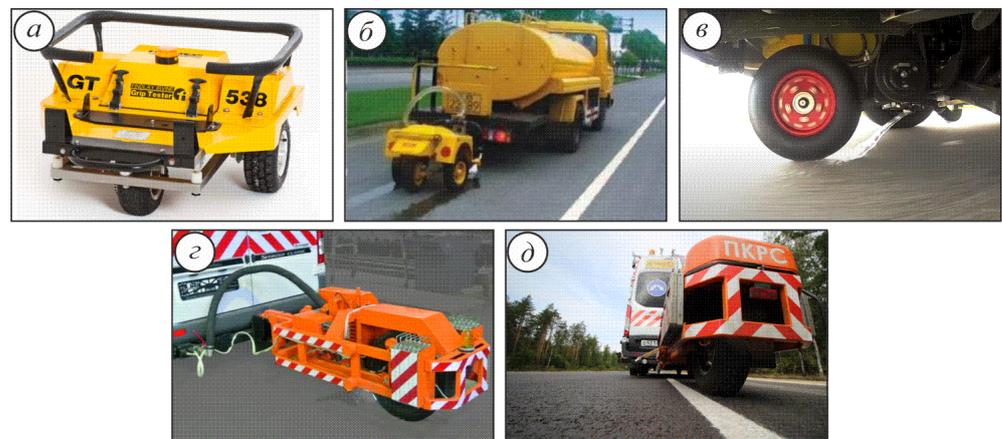


Рис. 2. Мобильные установки для определения коэффициента сцепления: *a* — Griptester Mark II; *б* — B052 Airport Surface Friction Tester (ASFT); *в* — SARSYS Friction Tester 2004; *г* — ПКРС-2У; *д* — ПКРС-3

Отметим, что в настоящее время разработано большое количество мобильных установок для измерений коэффициента сцепления шины с покрытием, на рис. 2 показано всего пять из них (ПКРС-2У и ПКРС-3 производятся в РФ). Принцип действия одинаков, он состоит в тестировании увлажненного покрытия заблокированным колесом. В процессе измерений на покрытие подают воду с расходом, необходимым для образования пленки воды глубиной 1...2 мм и одновременно блокируют колесо. Обе операции выполняются синхронно после команды оператора бортового персонального компьютера. Датчик, встроенный в прибор, измеряет деформации пластины, а компьютерная программа вычисляет коэффициент сцепления, выдавая его значение в виде результата эксперимента. Требуемые значения коэффициента сцепления нормируются на строго оговоренные условия. Например, в России такими условиями являются скорость движения (60 ± 5) км/ч, глубина водной пленки 1...2 мм, температура воздуха 20 °С. Тем не менее приборы, показанные на рис. 2, можно применять при других условиях, исследуя зависимость коэффициента сцепления от изучаемых факторов.

На рис. 3 приведены приборы и оборудования для измерения параметров шероховатости покрытия.

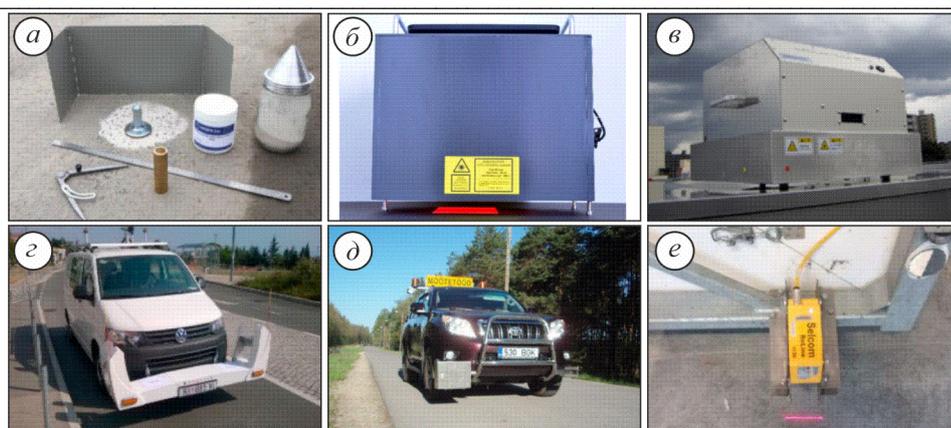


Рис. 3. Приборы и оборудование для измерения параметров шероховатости: *a* — песчаное пятно; *b* — лазерный сканер текстур; *c* — круговой измеритель текстуры (СТ Meter); *d* — лазерный профилировщик HAWKEYE 2000; *e* — лазерный текстурометр LTM-1; *e* — лазер, установленный на прицепе

Принципы действия современных приборов описаны в работах [11—14], они позволяют измерять как среднюю глубину впадин шероховатости, так и расстояния до границ зерен щебня разного размера. Применение такого оборудования позволило расширить номенклатуру параметров шероховатости дорожного покрытия по сравнению с применяемой в России (средняя глубина впадин, средняя высота выступов, коэффициент шага шероховатости). Лазерное оборудование, установленное на автомобилях, позволяет проводить измерения на больших протяженностях. Увеличение объема информации позволило создавать модели изменения параметров шероховатости в процессе эксплуатации дорог [15—19]. Безусловно, что изменение параметров шероховатости необходимо учитывать при их проектировании.

В Российской Федерации вопросы устройства шероховатых покрытий, определения и нормирования их параметров исследуются в работах специалистов ВолгГАСУ [20, 21], ПНИПУ и СГТУ [22—25], а также СибАДИ [26—30].

Целью настоящей работы является определение предельных значений параметров шероховатости дорожного покрытия для обеспечения безопасного движения.

Методы и материалы

Применение приборов и оборудования, позволяющего измерять геометрические характеристики шероховатых поверхностей покрытий автомобильных дорог с различной точностью, привело к разработке разных показателей шероховатости. Отличия этих показателей можно увидеть на рис. 4, на котором указаны средние значения глубины впадин и высоты выступов для измерений методом песчаного пятна (рис. 4, *a*) и лазерным текстурометром (рис. 4, *b*).

Метод песчаного пятна является наиболее простым и, видимо, по этой причине он наиболее распространен. Применение этого метода позволяет определять среднюю глубину впадин шероховатости H и среднюю высоту выступов R . При определении средней глубины впадин макрошероховатости опыт выполняется непосредственно на дорожном покрытии. Для этого на

покрытие высыпают порцию песка из мерного стаканчика. Песок распределяют в простую фигуру (обычно круг или прямоугольник). Песок распределяют так, чтобы пространство между выступами было заполнено полностью. Контроль этой операции производят визуально, убеждаясь, что по всей площади песчаного пятна поверхность песка совпадает с вершинами наиболее крупных зерен каменного материала. Далее определяют площадь пятна, и отношением объема высыпанного песка к площади пятна определяют среднюю глубину впадин. Для этого метода производятся различные комплекты оборудования, в состав которых входят мерные стаканчики различного объема (обычно три стаканчика) и линейка-измеритель. Линейки имеют, как правило, три шкалы, соответствующие объему высыпанного песка. Применение линейки измерителя позволяет определить среднюю глубину впадин сразу на месте эксперимента, не прибегая к вычислению отношения объема песка к площади пятна. Независимо от оборудования, применяемого в опыте, результатом является измеренная средняя глубина впадин шероховатости H .

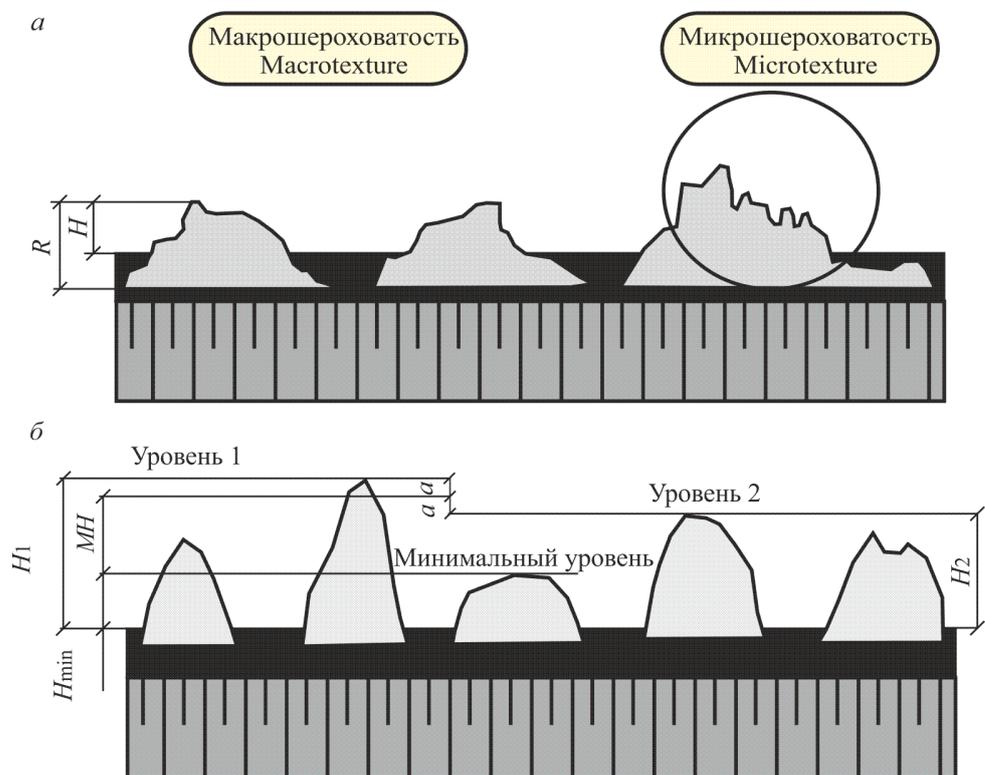


Рис. 4. Отличия параметров шероховатости при измерении разными приборами: a — метод песчаного пятна; b — лазерный текстурометр

Этот же метод применяют для измерения средней высоты выступов шероховатости, но с той разницей, что опыт производят два раза. Первый раз определяют среднюю глубину впадин шероховатости на покрытии. Затем покрытие очищают от песка и снимают с этой точки измерений слепок, например путем распределения быстротвердеющего цемента, гипса и т. п. Второй опыт производят непосредственно на этом слепке, который аккуратно

отделяется от покрытия, переворачивается и на его шероховатую поверхность подают песок. В результате опыта на слепке определяют характеристику, аналогичную H , но с той разницей, что на слепке впадины образует каменный материал покрытия. Измеренную характеристику обозначают ΔR .

Среднюю высоту выступов шероховатости R дорожного покрытия определяют суммой ΔR и H . Безусловно, что один опыт по определению средней глубины впадин шероховатости H гораздо проще двух опытов, один из которых требует снятия слепка с покрытия, необходимых для определения средней высоты выступов шероховатости R . Поэтому действующие нормативные документы выдвигают требования только к средней глубине впадин шероховатости H . Тем не менее ранее действовавшие нормы ВСН 38-90 классифицировали шероховатые покрытия по трем параметрам: средней глубине впадин шероховатости H , средней высоте выступов R и коэффициенту шага шероховатости, определяемому отношением $K = H/R$. В этом документе приведена эмпирическая методика подбора параметров шероховатости покрытия, в качестве которых используется средняя высота выступов R .

Безусловно, что по условиям безопасности движения работоспособное состояние покрытия можно представить известным критерием, сравнивающим фактическое значение коэффициента сцепления шины с покрытием с его предельным значением. Такой критерий запишем в виде

$$\varphi(\vartheta, R, h_w) \geq \varphi_{\vartheta \text{ lim}}, \quad (1)$$

где $\varphi(\vartheta, R, h_w)$ — фактический коэффициент сцепления шины с мокрым асфальтобетонным покрытием, представляющей собой функцию скорости движения ϑ , средней высоты выступов шероховатости R и глубины слоя дождевого стока h_w ; $\varphi_{\vartheta \text{ lim}}$ — предельное значение коэффициента сцепления для скорости ϑ .

Предельное значение коэффициента сцепления $\varphi_{\vartheta \text{ lim}}$, используемое в критерии (1), имеет важное отличие от общепринятого требуемого коэффициента сцепления. Суть этого отличия в том, что предел $\varphi_{\vartheta \text{ lim}}$ является функцией скорости движения пневматического колеса по увлажненному чистому асфальтобетонному покрытию. Поэтому величина этого коэффициента зависит от скорости движения, она не привязана к скорости 60 км/ч. Тем не менее по значениям этого предельного коэффициента можно вычислять общепринятый требуемый коэффициент сцепления, используя математическую модель А. П. Васильева. В этом случае расчет необходимо выполнять по формуле

$$\varphi_{\vartheta \text{ lim}} = \varphi_{\text{lim}} - \beta_{\varphi} (\vartheta_2 - 60), \quad (2)$$

где φ_{lim} — требуемое значение коэффициента сцепления, измеренное при скорости движения 60 км/ч; β_{φ} — параметр, учитывающий изменение коэффициента сцепления в зависимости от типа покрытия и его состояния.

В стандартах и строительных правилах, действовавших на территории РФ, регламентировались различные требования к величине коэффициента φ_{lim} . Причем действующие стандарты и нормативные документы тоже содержат противоречия. Так, ГОСТ Р 50597 содержит п. 5.2.2, регламентирующий $\varphi_{\text{lim}} = 0,3$ при его измерении по ГОСТ 33078 мобильной

установкой типа ПКРС-2, снабженной колесом с протектором без рисунка. Ранее в СП 34.13330, содержащих требуемые значения коэффициентов сцепления в зависимости от особенностей их участков и условий движения при увлажненной поверхности покрытий, регламентировали для легких условий движения $\varphi_{\text{lim}} = 0,45$ при его измерении по ГОСТ 30413 тем же прицепным прибором, но снабженным колесом с рисунком протектора глубиной не менее 1,0 мм. В связи с различным толкованием предельных значений коэффициента сцепления шины с покрытием в табл. 1 нами вычислены предельные коэффициенты сцепления для различных скоростей, но при подстановке в зависимость (2) разных требуемых значений этого коэффициента при скорости 60 км/ч (0,45; 0,40; 0,35 и 0,30).

Таблица 1

Предельные значения коэффициента сцепления для разных скоростей движения

Состояние покрытия	Скорость движения, км/ч						
	60	70	80	90	100	110	120
Асфальтобетонное с ШПО мокрое, чистое $\beta_{\varphi} = 0,0035$	0,45	0,41	0,37	0,33	0,29	0,25	0,21
	0,40	0,37	0,33	0,30	0,26	0,23	0,19
	0,35	0,32	0,28	0,25	0,21	0,18	0,14
	0,30	0,27	0,23	0,20	0,16	0,13	0,09

Различия в предельных коэффициентах сцепления и в методиках их измерения, представленных в табл. 1, необходимо учитывать при математическом моделировании $\varphi(\vartheta, R, h_w)$. В одних случаях коэффициенты сцепления шины с покрытием должны измеряться колесом с гладким протектором, а в других — колесом, имеющим рисунок протектора. В работах [26—28] нами получена математическая модель для расчета коэффициента сцепления шины с покрытием. Эта формула имеет вид

$$\varphi(\vartheta, R, h_w) = \left[0,399 \left(\frac{\vartheta}{90} \right)^2 - 1,3591 \frac{\vartheta}{90} + 1,226 \right] \times \exp \left\{ \frac{R - h_w}{2 \cdot R_{\text{lim}}} \left[1,2473 \frac{\vartheta}{90} - 0,4861 \left(\frac{\vartheta}{90} \right)^2 - 0,598 \right] \right\}, \quad (3)$$

где R_{lim} — наименьшая предельная макрошероховатость покрытия, $R_{\text{lim}} = 0,5$ мм.

Безусловно, что математическую модель (3) можно использовать в критерии (1) полагая, что вычисляемая по ней величина коэффициента сцепления шины с покрытием $\varphi(\vartheta, R, h_w)$ не должна быть меньше φ_{lim} .

В зависимости (3) разность средней высоты выступов R и глубины слоя стока h_w является активной макрошероховатостью покрытия, которая количественно характеризует среднюю высоту шероховатости, не заполненную водой и контактирующую с шиной, обуславливая гистерезисную составляющую коэффициента сцепления. Модель (3) можно решить относительно этой активной макрошероховатости; сделав это, получим:

$$R - h_w = \frac{2 \cdot R_{\text{lim}}}{1,2473 \frac{\vartheta}{90} - 0,4861 \left(\frac{\vartheta}{90}\right)^2 - 0,598} \times \times \ln \left[\frac{\varphi_{\vartheta \text{ lim}}}{0,399 \left(\frac{\vartheta}{90}\right)^2 - 1,3591 \frac{\vartheta}{90} + 1,226} \right]. \quad (4)$$

В формулу (4) вместо величины коэффициента сцепления $\varphi(\vartheta, R, h_w)$ можно подставить его предельное значение, вычисляемое по формуле (2). В этом случае зависимость (4) будет определять требуемое минимальное значение активной средней высоты выступов шероховатости, т. е. ее части, незаполненной водой, которая необходима для обеспечения коэффициента сцепления. В этом случае формулу (4) можно представить в виде критерия расчета по требуемой высоте выступов шероховатости покрытия:

$$R \geq h_w + \left[1,2473 \frac{\vartheta}{90} - 0,4861 \left(\frac{\vartheta}{90}\right)^2 - 0,598 \right]^{-1} \times \times \ln \left[\frac{\varphi(\vartheta, R, h_w)}{0,399 \left(\frac{\vartheta}{90}\right)^2 - 1,3591 \frac{\vartheta}{90} + 1,226} \right]. \quad (5)$$

Глубину слоя стекающей с покрытия воды можно найти по формуле, рекомендованной проф. А. П. Васильевым и проф. М. В. Немчиновым, применявшейся в ранее действовавших нормах ВСН 38-90:

$$h_w = \left(\frac{a \cdot L_w \cdot n}{30 \cdot k^{-1} \cdot \sqrt{i_c^2 + i_{ls}^2}} \right)^{0,588}, \quad (6)$$

где a — интенсивность дождя, мм/мин; L_w — длина участка стекания воды, мм; n — коэффициент гидравлической шероховатости; i_{ls} , i_c — продольный и поперечный уклон проезжей части и уклон стока соответственно, % или ‰; k — коэффициент, принимаемый равным при измерении уклонов в % — $k = 10$, а при измерении уклона в ‰ — $k = 31,6228$.

Неравенства (5) и формула (6) позволяют вычислять наименьшие значения средней высоты выступов шероховатого покрытия, требуемые для размещения и транспортировки дождевой воды и обеспечения гистерезисной составляющей коэффициента сцепления шины с покрытием. Результаты таких вычислений приводятся в следующем подразделе нашей публикации.

Результаты

На рис. 5 приведены результаты расчета коэффициента сцепления и глубины слоя стока дождевой воды, полученные по формулам (3) и (6).

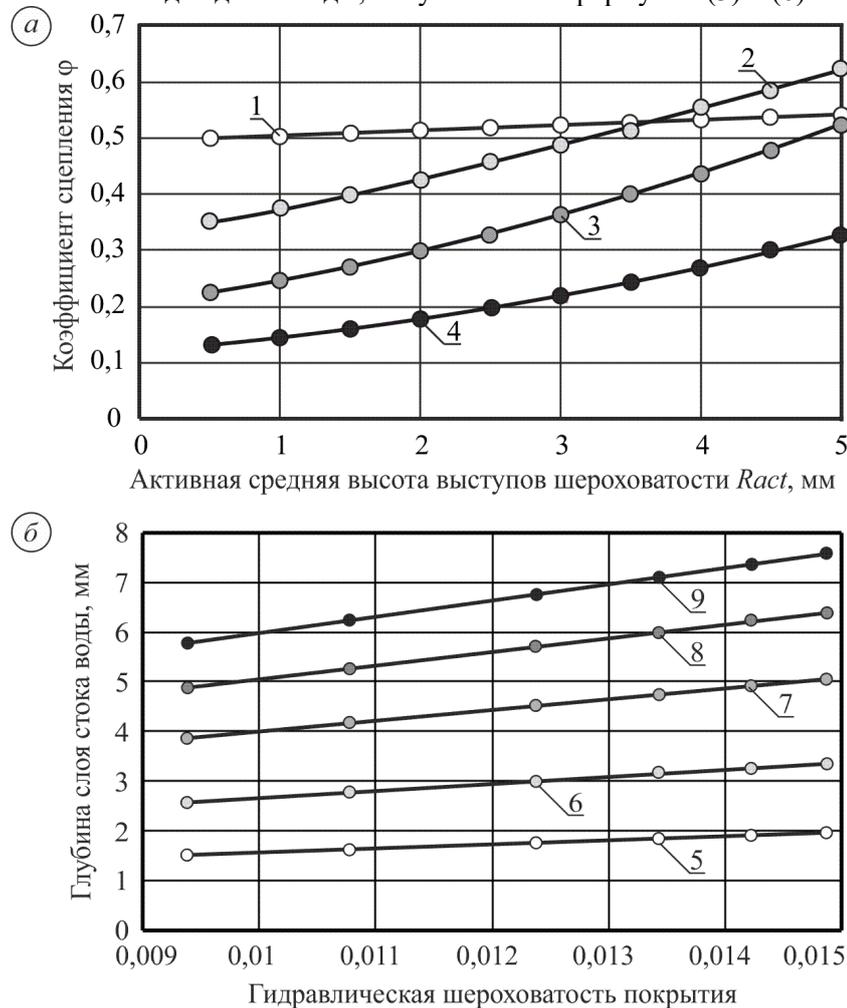


Рис. 5. Результаты расчета по формулам (3) и (6): *a* — зависимость коэффициента сцепления $\varphi(R, h_w)$ от активной средней высоты выступов $R_{act} = R - h_w$ и скорости движения ϑ ; *b* — зависимость глубины стока дождевой воды от гидравлической шероховатости n и интенсивности дождя a ; 1–4 — при скорости движения 60; 80; 100 и 120 км/ч; 5–9 — при интенсивности дождя 0,2; 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 мм/мин

Результаты расчета глубины стока дождевой воды проверены нами экспериментально при одномоментном определении интенсивности дождя при помощи дождемера. Материалы такого эксперимента приведены в работе [30]. Данные расчета и эксперимента позволяют проектировать элементы ливневой канализации [28, 29] и рассчитывать минимальную среднюю активную высоту выступов шероховатости покрытия, необходимую для безопасного движения во время дождя.

Результаты расчета требуемой средней высоты выступов шероховатого покрытия приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость требуемых параметров шероховатости R от скорости движения ϑ , интенсивности дождя и гидравлической шероховатости покрытия n

ϑ , км/ч	a, мм/мин	Требуемая средняя высота выступов шероховатости покрытия R, мм, при гидравлической шероховатости n					
		$9,4 \cdot 10^{-3}$	$10,8 \cdot 10^{-3}$	$12,4 \cdot 10^{-3}$	$13,4 \cdot 10^{-3}$	$14,2 \cdot 10^{-3}$	$14,9 \cdot 10^{-3}$
80	0,2	1,2	1,4	1,7	1,8	1,9	2,0
80	0,5	1,2	1,4	1,7	1,8	1,9	2,0
80	1,0	2,5	2,8	3,2	3,4	3,6	3,7
80	1,5	3,5	3,9	4,4	4,7	4,9	5,0
80	2,0	4,4	4,9	5,4	5,8	6,0	6,2
100	0,2	1,6	1,7	1,9	2,0	2,0	2,1
100	0,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,4	3,5
100	1,0	4,0	4,3	4,6	4,9	5,0	5,2
100	1,5	5,0	5,4	5,9	6,1	6,4	6,5
100	2,0	5,9	6,4	6,9	7,3	7,5	7,7
120	0,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7
120	0,5	3,3	3,5	3,8	3,9	4,0	4,1
120	1,0	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	5,8
120	1,5	5,7	6,1	6,5	6,8	7,0	7,2
120	2,0	6,6	7,0	7,6	7,9	8,2	8,3

Заключение

Предложенная методика расчета позволяет обеспечивать безопасное движение во время дождя, когда глубина слоя стекающей с покрытия воды максимальная. Такие же параметры шероховатости обеспечат безопасное движение после дождя, когда покрытие еще мокрое. Результаты расчета выполнены при интенсивностях дождя до 2 мм/мин. Ограничение связано с тем, что дождь влияет на видимость, в зависимости от которой водители выбирают скорость движения. Как показывают результаты экспериментов, при более высоких интенсивностях скорость движения уменьшается, вплоть до полной остановки транспортных средств во время ливня.

Представленный нами алгоритм расчета, основанный на математической модели (3), позволяет выполнять исследования в других направлениях повышения безопасности движения. Так, при должной доработке критериев безопасности движения (1) и математические модели (2) и (3) можно использовать для расчета предельной глубины колеи, в которой скапливается дождевая вода.

Критерий (1) и формулы (2) и (3) позволяют вычислять расстояния между дождеприемными устройствами ливневой канализации, обеспечивая своевременный отвод лишней воды, не допуская дождевого стока критической глубины.

Совокупность представленных в работе материалов и описанных нами перспектив применения полученных математических моделей позволяет обеспечивать безопасность движения как на городских дорогах и улицах, так и на дорогах общего пользования с асфальтобетонным покрытием.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Henry J. J. Evaluation of pavement friction characteristics // NCHRP Synthesis of Highway Practice. 2000. Vol. 291. 72 p.
2. Bray J. The role of crash surveillance and program evaluation: NYSDOT's skid accident reduction program (SKARP) // Presented at 28th International Forum on Traffic Records and Highway Information Systems. Orlando, Florida, 2002.

3. *Gothie M.* Relationship between surface characteristics and accidents // Presented at International Symposium on Pavement Surface Characteristics. Christchurch. 1996. Pp. 271—282.
4. *Schulze K., Gerbaldi A., Chavet J.* Skidding accidents, friction numbers, and the legal aspects involved report of the PIARC technical committee on slipperiness and evenness // Transportation Research Record. 1977. Vol. 623. Pp. 1—10.
5. *Wambold J. C., Henry J. J., Hegmon R. R.* Skid resistance of wet-weather accident sites // ASTM special technical publications. 1986. Pp. 47—60. DOI: 10.1520/STP20001S.
6. *Suhaimi A., Baharuddin A. R.* Threshold value of skid resistance and texture depth for Malaysia road // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 512. Pp. 12—35. DOI: 10.1088/1757-899X/512/1/012035.
7. *Hirushi V. T., Pasindu H. R.* Methodology to Incorporate Frictional Performance in the Pavement Management System of Sri Lankan Expressways // Presented at Moratuwa Engineering Research Conference (MERCCon), 2020. DOI: 10.1109/MERCCon50084.2020.9185214.
8. *Kovac M., Remiasova E., Komacka J.* Update of the evaluation criteria for the anti-sensitive characteristics of the vehicles in the context of European norms, 2011. Pp. 1—36.
9. *Kascak J.* Macrostructure digitalization of the roadway surface profiles // MM Science Journal. 2019. Pp. 2839—2844. DOI: 10.17973/MMSJ.2019_03_201875.
10. *Forster S. W.* Pavement microtexture and its relation to skid resistance // Transportation Research Record. 1989. No. 1215. Pp. 151—154.
11. *Hall J. W., Smith K. L., Littleton P.* Texturing of Concrete Pavements. NCHRP Report 634 // Transportation Research Board. Washington DC. 2009. P. 73. DOI: <https://doi.org/10.17226/14318>.
12. Guide for Pavement Friction / J. W. Hall, et al. // NCHRP Web-Only Document 108. 2009. DOI: <https://doi.org/10.17226/23038>.
13. Laser scanning on road pavements: a new approach for characterizing surface texture / G. Bitelli, et al. // Sensors. 2012. Vol. 12. No. 7. Pp. 9110—9128.
14. *Hanson D. I., Prowell B. D.* Evaluation of circular texture meter for measuring surface texture of pavements // Transportation Research Board. 2005. Vol. 1929. No. 1. Pp. 88—96. DOI: 10.3141/1929-11.
15. Study on asphalt pavement surface texture degradation using 3D image processing techniques and entropy theory / Y. Miao, et al. // Entropy. 2019. Vol. 21. No. 2. Pp. 1—22. DOI: 10.3390/e21020208.
16. *Aavik A., Kaal T., Jentson M.* Use of pavement surface texture characteristics measurement results in Estonia // Presented at XXVIII International Baltic Road Conference. Vilnius, Lithuania, 2013. Pp. 1—10.
17. *Nicholls J. C., Frankland D. P.* The long-term performance of a surface dressing trial on A413, Amersham // Transport Research Laboratory (Great Britain), 1997. 18 p.
18. Changes of surface dressing texture as related to time and chipping size / H. Yaacob, et al. // Malaysian Journal of Civil Engineering. 2008. Vol. 20. No. 1. Pp. 1—11.
19. Smaller stone size surface dressings for high stone surface mixes / D. Woodward, et al. // Presented at International Surface Friction Conference — Roads and Runways, 2005. Pp. 1—11.
20. *Романов С. И., Стадник А. Ю.* Показатели шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий // Строительные материалы. 2010. № 10. С. 30—31.
21. *Романов С. И., Стадник А. Ю.* Обоснование применения электроемкостного экспресс-метода для определения шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий // Вестн. ВолГАСУ. 2011. Вып. 21(40). С. 47—51.
22. *Кочетков А. В., Чванов А. В., Аржанухина С. П.* Научные основы нормирования шероховатых поверхностей дорожных покрытий // Вестн. ВолГАСУ. 2009. Вып. 14(33). С. 80—86.
23. *Кочетков А. В., Суслиганов П. С.* Устройство шероховатых поверхностных слоев на покрытиях автомобильных дорог и мостовых сооружений. Обзорная информация. М.: Информационный центр автомобильным дорогам, 2005. Вып. 3. 100 с.
24. *Кочетков А. В., Янковский Л. В., Трофименко Ю. А.* Способы формирования устойчивых структур шероховатых поверхностных слоев // Интернет-журн. «Науковедение». 2014. № 4(23).
25. *Янковский Л. В., Кочетков А. В., Трофименко Ю. А.* Автоматизация обработки данных измерения параметров макрошероховатости дорожных покрытий // Дороги и мосты. 2014. № 2(32). С. 92—101.

26. Александров А. С., Александрова Н. П., Семенова Т. В. О проектировании шероховатости дорожных покрытий и дождевой канализации по условиям безопасности движения // Автомобильная промышленность. 2008. № 8. С. 36—38.

27. Александров А. С., Александрова Н. П., Семенова Т. В. Критерии проектирования шероховатых асфальтобетонных покрытий из условия обеспечения безопасности движения // Изв. высш. учеб. заведений. Стр-во. 2009. № 2(602). С. 66—73.

28. Семенова Т. В. Обеспечение сцепных качеств мокрых шероховатых асфальтобетонных покрытий на улицах городов и сельских поселений // Вестн. СибАДИ. 2009. № 1(11). С. 36—42.

29. Александров А. С., Семенова Т. В. Обеспечение сцепных качеств асфальтобетонных покрытий городских дорог и улиц при проектировании сети дождевой канализации // Вестн. МАДИ. 2009. № 2(17). С. 29—32.

30. Александров А. С., Семенова Т. В. Экспериментальная оценка глубины слоя стока воды на асфальтобетонном покрытии в период дождя // Вестн. СибАДИ. 2011. № 3(21). С. 29—35.

© Семенова Т. В., Александрова Н. П., 2022

Поступила в редакцию
в ноябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Семенова Т. В., Александрова Н. П. Требования к параметрам шероховатости покрытий автомобильных дорог // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 1(86). С. 104—115.

Об авторах:

Семенова Татьяна Викторовна — канд. техн. наук, доц., Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). Российская Федерация, 644080, г. Омск, пр. Мира, 5; stv8@yandex.ru

Александрова Наталья Павловна — канд. техн. наук, доц., Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). Российская Федерация, 644080, г. Омск, пр. Мира, 5; nata26.74@mail.ru

Tat'yana V. Semenova, Natal'ya P. Aleksandrova

The Siberian State Automobile and Highway University

REQUIREMENTS FOR THE PARAMETERS OF THE ROAD PAVEMENT ROUGHNESS

The article deals with the issues of ensuring the safe movement of motor transport on wet rough asphalt concrete pavement. A mathematical model that relates the coefficient of tire adhesion to the parameters of the roughness of the coating, the depth of rainwater flowing from the surface, and the speed of the car is presented. From this model, formulas for calculating the limiting parameters of the roughness of the pavement, providing the required coefficient of adhesion at different speeds and the depth of rainwater runoff are derived.

К е y w o r d s: coefficient of adhesion, roughness parameters, road pavement.

For citation:

Semenova T. V., Aleksandrova N. P. [Requirements for the parameters of the road pavement roughness]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2022, iss. 1, pp. 104—115.

About authors:

Tat'yana V. Semenova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI). 5, Mira Ave., Omsk, 644080, Russian Federation; stv8@yandex.ru

Natal'ya P. Aleksandrova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI). 5, Mira Ave., Omsk, 644080, Russian Federation; nata26.74@mail.ru